

І-й етап Всеукраїнської олімпіади з фізики у Дніпропетровській області
25.10.2025 р. **10 клас** (умови і розв'язки)

1. (10 балів) Міні-завдання

1.1. Прискорення равлика 27 мм/хв^2 . Знайдіть значення цього прискорення в SI.

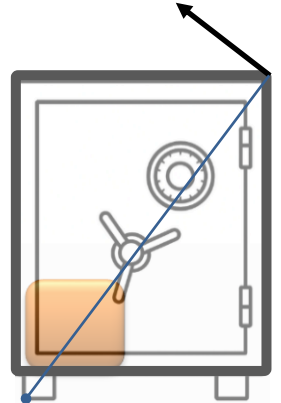
$7,5 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}^2$.

1.2. Краплі дощу падають під кутом 30° до вертикалі зі швидкістю 12 м/с . З якою швидкістю дує вітер вздовж поверхні землі?

6 м/с . Горизонтальна складова швидкості 12 м/с – це швидкість вітру, який зносить краплі вбік.

1.3. До якої точки сейфу з золотом слід прикласти силу і в якому напрямку, щоб якнайлегше його перевернути? Зобразіть на схематичному рисунку.

Мінімальна сила буде за максимального плеча. Отже, прикладаємо її до правого верхнього ребра сейфу під прямим кутом до напрямку на вісь обертання (див. Рис.). При цьому момент сили тяжіння буде мінімальним.



1.4. Гумову нитку довжиною 10 см розтягнули на 1 см . У скільки разів має бути більшою сила, щоб розтягнути цю ж гумку, але складену удвічі, на 2 см ?

У 8 разів. Жорсткість складеної удвічі нитки збільшується в 4 рази і в 2 рази більше видовження.

1.5. Під час повені десятиметровий стовп затопило на 4 метра водою. У скільки разів тиск на нижню частину стовпа більший за тиск на верхню? Уважайте, що атмосферний тиск 100 кПа , густина води 1 г/см^3 , а прискорення вільного падіння 10 м/с^2 .

В $1,4$ рази. Гідростатичний тиск на глибині 4 м дорівнює 40 кПа , отже тиск на нижню частину стовпа 140 кПа , що в $1,4$ рази більше за атмосферний.

2. (10 балів) Влітку 2025 р. у Порнайнені (Фінляндія) запрацювала найбільша у світі піщана термобатарея. Вона здатна зберігати до $100 \text{ МВт} \cdot \text{год}$ теплової енергії з ефективністю близько 90% . Батарея заввишки 13 метрів та діаметром 15 метрів вміщує близько 2000 тон подрібненого стеатиту (мильного каменю).

За допомогою надлишкової електроенергії від відновлюваних джерел матеріал нагрівається до 600°C . Коли виникає потреба, батарея віддає цю енергію назад.



2.1. На яку висоту можна підняти 2000 т стеатиту за рахунок $100 \text{ МВт} \cdot \text{год}$ теплової енергії, якщо ККД 90% ?

$$h = \frac{0,9Q}{mg} = 16,2 \text{ км} \approx 16 \text{ км (або } \approx 16,5 \text{ км для } 9,8 \text{ м/с}^2\text{)}.$$

2.2. Оцініть питому теплоємність стеатиту, якщо ефективний відбір теплоти здійснюється за температури стеатиту від 600 °C до 300 °C.

$$c = \frac{Q}{m\Delta t} = 600 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}.$$

2.3. Оцініть товщину теплоізоляційних стінок цієї теплобатарей, вважаючи, що вони займають половину вільного від стеатиту об'єму циліндру батареї і закривають стелю й бокові стінки шаром однакової товщини. Насипна густина стеатиту 1,6 кг/л.

$$\text{Половина вільного від стеатиту внутрішнього об'єму } \Delta V = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{4} \pi d^2 h - \frac{m}{\rho} \right) \approx 524 \text{ м}^3.$$

$$\text{Площа теплоізолюваної поверхні } S = \frac{1}{4} \pi d^2 + \pi dh = \pi d \left(\frac{1}{4} d + h \right) \approx 789 \text{ м}^2.$$

Ділимо ΔV на S й отримуємо товщину 66 см, яку округлюємо до 70 см, оскільки перше, ми робимо оціночні розрахунки, а, по друге, ефективна площа теплоізоляційного шару, який знаходиться всередині термобатарей, буде меншою за зовнішню площу S , а отже відповідна товщина має бути більшою (майже точне значення 72 см).

Для забезпечення невеликого містечка електрикою вирішили побудувати 8 таких термобатарей. Оскільки теплові втрати у зовнішнє середовище пропорційні площі поверхні й обернено пропорційні товщині теплоізоляційного шару, з'явилася пропозиція замість восьми термобатарей побудувати одну велику такої ж форми з такою самою загальною кількістю стеатиту та теплоізоляційних матеріалів.

2.4. Знайдіть розміри цієї супербатареї та оцініть у скільки разів зменшиться потужність її теплових втрат у порівнянні з загальною потужністю теплових втрат усіх 8 батарей? Температурні умови вважати однаковими.

Якщо маса і, відповідно, об'єм збільшуються у 8 разів, то лінійні розміри подібних фігур відрізнятимуться у 2 рази. Супербатарея матиме висоту 26 м, а діаметр 30 м. Відношення площ подібних фігур дорівнює квадрату відношення лінійних розмірів. У нашому випадку супербатарея матиме площу у 4 рази більшу за площу звичайної піщаної батареї і тоді в 2 рази меншу загальної площі 8 звичайних батарей. За рахунок цього теплові втрати мають зменшитись вдвічі. Але ж і товщина теплоізоляційного шару, як лінійний розмір, має збільшитись у 2 рази. Отже, за тієї самої різниці температур теплоізоляційний шар супербатареї вдвічі гірше пропускатиме тепло (найбільш логічне припущення). Таким чином маємо, що теплові втрати супербатареї будуть в 4 рази меншими, ніж 8-ми звичайних батарей разом.

3. (10 балів) Мавпа масою 20 кг бавиться з блоками. Спочатку мавпа зависла як зображено на рисунку.

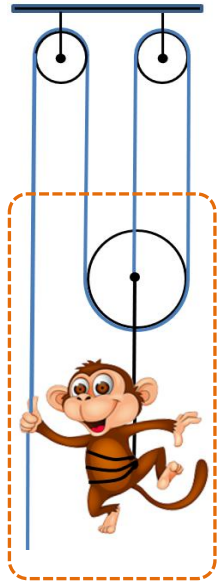
3.1. З якою силою вона натягує вірвовку правою рукою, щоб перебувати у рівновазі? Масами блоків і вірвовки можна знехтувати та вважати, що прискорення вільного падіння 10 м/с².

$F=mg/4=50$ Н. Сила натягу вірьовки, за яку тримається мавпа, всюди однакова. Тоді на обведену пунктиром систему тіл (мавпа, блок, частини вірьовки) вгору діють 4 сили натягу вірьовки, а вниз mg мавпи. Звідси і знаходимо, що мавпа утримує себе силою вчетверо меншою за власну вагу.

Мавпа вирішила опуститися, дозволяючи вірьовці ковзати крізь долонь, і послабила хват своєї руки вдвічі менше мінімального, яким утримувала себе до цього у рівновазі.

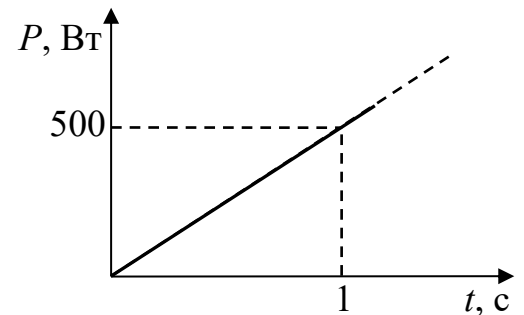
3.2. З яким прискоренням спускатиметься мавпа?

$a=g/2=5$ м/с². Послабивши вдвічі хват, мавпа тим самим вдвічі зменшила і максимальне значення сили тертя, яка до цього не дозволяла вірьовці проковзувати. Тепер вірьовка натягнута силою $F/2=mg/8$, а чотири такі сили, що діятимуть вгору дорівнюватимуть $mg/2$ і наполовину компенсуватимуть спрямовану вниз силу тяжіння mg . Отже, рівнодійна буде спрямована вниз, дорівнюватиме $mg/2$ і викликати прискорення мавпи вниз $a=g/2=5$ м/с².



3.3. Побудуйте графік залежності теплової потужності, що виділятиметься за рахунок тертя між долоню мавпи і вірьовкою, від часу.

Величина потужності сили тертя (знак від'ємний) $P = Fv$, де v – це швидкість проковзування вірьовки відносно долоні мавпи. З геометрії рисунку видно, що при зміщенні мавпи на h вниз, вільний кінець вірьовки піднімається на $3h$ вгору. Отже, якщо через час t мавпа рухається зі швидкістю $u = at$ вниз, вірьовка рухається вгору зі швидкістю $u = 3at$, тому відносна швидкість буде $v = 4u = 4at = 2gt$, а модуль потужності сил тертя $P = Fv = mg^2t/4 = 500t$ Вт/с – на графіку $P(t)$ це відрізок прямої, що виходить з початку координат.



4. (10 балів)

4.1. Яку мінімальну швидкість слід надати каменю, щоб він піднявся на висоту даху будинку, яка дорівнює 12 м? Уважати, що камінь відривається від руки людини на висоті 2 м над поверхнею землі. Розмірами каменю та опором повітря знехтувати. Прискорення вільного падіння 9,8 м/с².

Каменю слід піднятися на висоту $h = 10$ м над рукою людини.

$$v_{\min} = \sqrt{2gh} = 14 \text{ м/с.}$$

4.2. Яку максимальну відстань по горизонталі може подолати камінь до іншої точки на висоті 2 метри, якщо кинути його з цією швидкістю під кутом до горизонту?

Дальність польоту по горизонталі $S = \frac{v^2}{g} \sin 2\alpha$ буде максимальною, коли $\sin 2\alpha = 1$,

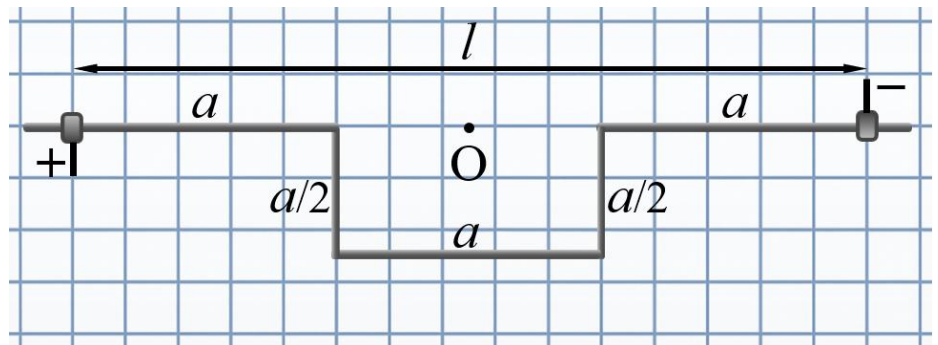
або $\alpha = 45^\circ$. Тоді $S_{\max} = \frac{v^2}{g} = \frac{2gh}{g} = 2h = 20$ м.

4.3. Яку мінімальну швидкість слід надати каменю, щоб він перелетів горизонтальний дах цього будинка шириною 25 м?

Для того, щоб камінь перелетів дах будинку з мінімальною швидкістю він має майже доткнутися двох протилежних країв даху. При цьому його швидкість v із закону збереження енергії буде біля краю даху тим меншою, чим меншу швидкість v_0 надала йому людина внизу. Отже, перед нами задача перелетіти горизонтальну відстань $S = 25$ м за найменшої швидкості v . Відомо, що найбільша дальність польоту на горизонтальній площині за даної швидкості буде, якщо тіло кинути під кутом 45° . Тоді $S = v^2/g$. Якщо кинути під іншим кутом для подолання тієї ж відстані знадобиться більша швидкість. Висновок, камінь треба кинути так, щоб біля краю даху він летів під кутом 45° зі швидкістю $v > \sqrt{gS}$. З закону збереження енергії $v_0 = \sqrt{2gh + v^2} = \sqrt{g(2h + S)} = 21$ м/с.

5. (10 балів) У два затискувачі вставили ніхромовий дріт вигнутий посередині у вигляді половини квадрату (див. Рис.1) і подали на затискувачі напругу 3,6 В.

5.1. Знайдіть струм у дроті. Питомий опір ніхрому $1,2 \cdot 10^{-6}$ Ом·м, площа перерізу дроту 1 мм², відстань між затискувачами $l = 15$ см.



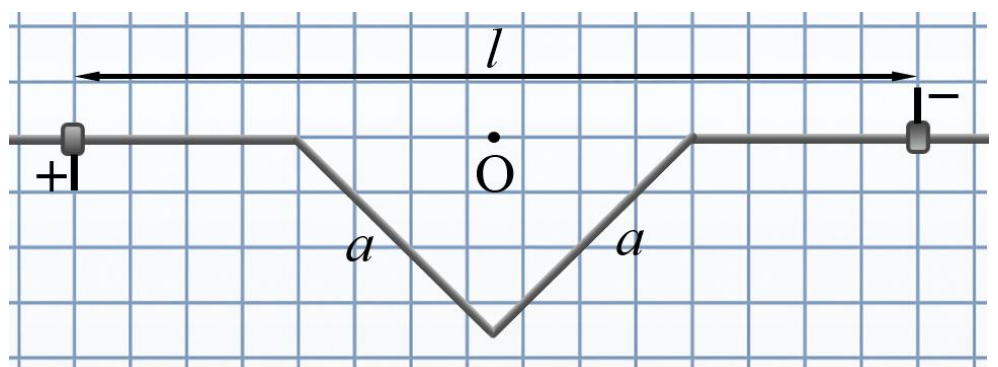
Якщо $l = 15$ см, довжина дроту згідно рисунку $L = 20$ см. Опір $R = \rho L/S = 0,24$ Ом. Отже, струм у дроті 15 А.

У точці О посередині між затискувачами спеціальним магнітометром виміряли магнітну індукцію від струму у дроті, яка виявилася 170 мкТл.

5.2. Вкажіть напрямок, у якому спрямована в точці О магнітна індукція від дроту зі струмом.

Струм йде зліва направо, поле в точці О створює вигнута у пів квадрату дільниця. За правилом правої руки (або свердлика), визначаємо, що магнітна індукція спрямована до нас із площини рисунку.

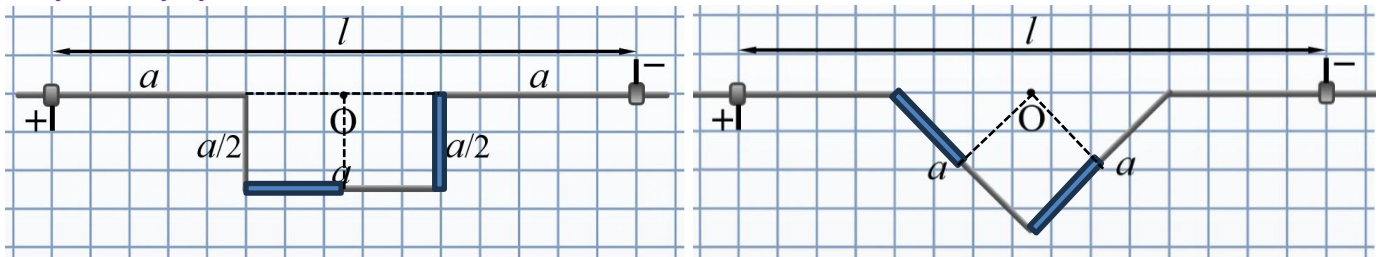
Потім вимкнули напругу, дріт витягли із затискачів, півквадрат вигнули у два катети прямокутного трикутника, вставили дріт назад у ті ж затискачі так, щоб точка О опинилася на однаковій відстані від катетів (Рис.2), і



подали на затискачі ту ж саму напругу 3,6 В.

5.3. Визначте магнітну індукцію у точці О в цьому випадку.

Зазначимо, що як у першому, так і в другому випадках можна вважати, що магнітну індукцію створюють по 4 відрізки дроту довжиною $a/2$ на відстані $a/2$ від свого краю у перпендикулярному напрямку (див. Рис.). Тому за однакового струму, магнітні індукції будуть однакові.



Але, як можна побачити навіть з порівняння рисунків, довжина дроту між затискувачами, яким йде струм, стала меншою. У стільки ж разів став меншим опір, а отже струм, а з ним і магнітна індукція, яку він створює, у стільки ж разів більшим. Нова довжина дроту $L' = 2a + (l - \sqrt{2}a) = (5 - \sqrt{2})a = \frac{5-\sqrt{2}}{4}L$. Отже, величина магнітної індукції збільшилась у $\frac{4}{5-\sqrt{2}}$ разів і набула значення ≈ 190 мкТл.

Задачі запропонував Олег Орлянський, вчитель фізики Дніпровського наукового ліцею інформаційних технологій